

## COMPORTAMIENTO DE UN SENSOR LÁSER ESCÁNER.

M<sup>a</sup> Amparo Núñez Andrés<sup>(1)</sup>, Felipe Buill Pozuelo<sup>(1)</sup>, Francisco Muñoz Salinas<sup>(2)</sup>

(1)Dpto. Ingeniería del Terreno, Cartografía y Geofísica. Universidad Politécnica de Cataluña.

(2)Laboratorio de Modelización Virtual de la Ciudad. Universidad Politécnica de Cataluña.

Dr. Marañón, 44-50

08028 Barcelona

[felipe.buill@upc.edu](mailto:felipe.buill@upc.edu), [m.amparo.nunez@upc.edu](mailto:m.amparo.nunez@upc.edu)

**Palabras clave:** láser-escáner, reflectividad

### Resumen

El uso de sistemas láser escáner terrestres para la realización de levantamientos cartográficos y no cartográficos, desde laderas o minas a cielo abierto a levantamientos arquitectónicos es cada vez más usual en el ámbito topográfico. Por ello creemos que es fundamental conocer el comportamiento y la precisión real que ofrecen estos sistemas láser ante diferentes condiciones de trabajo, como son la distancia al objeto, el ángulo de incidencia sobre el elemento a levantar y el tipo de material que lo constituye (color-textura), todo ello para un determinado tipo de láser (longitud de onda determinado).

Para ello se han llevado a cabo varias pruebas combinando estos parámetros cuyos resultados se presentarán en la ponencia.

### 1. Introducción

En el levantamiento de mediana y gran escala cada vez es más frecuente el empleo de sensores láser-escáner terrestres, puesto que esta técnica nos permite capturar en campo un gran volumen de datos en poco tiempo. El problema se encuentra principalmente en el tratamiento posterior de esa nube de puntos.

Tras realizar diferentes levantamientos con este tipo de sistemas se ha podido comprobar que al escanear elementos de diferente material, textura y color se produce una respuesta diferente en la devolución de la señal produciéndose, en algunos casos, la pérdida de información por no retornar la misma al sensor. Algunas pruebas han sido realizadas para estudiar la influencia de diversas condiciones de toma [1], [2].

Así pues una de las cuestiones que se nos plantea es como afecta a la medida de la distancia diferentes parámetros en la toma de datos, como pueden ser oblicuidad del elemento respecto el eje de la toma, la textura de los elementos a levantar y la influencia del tipo de material y color del mismo en la devolución de la señal, lo cual será diferente para cada tipo de onda.

Para comprobar todos estos aspectos y poder establecer una metodología de trabajo en postproceso se han realizado una serie de pruebas empleando el sensor Cyrax 2500 de Cyra-Leica que trabaja con una longitud de onda de 532nm, ofreciendo precisiones en la posición de un punto de  $\pm 6\text{mm}$  para distancias comprendidas entre 1,5m y 50m de trabajo, una precisión de  $\pm 4\text{mm}$  en el caso de mediada de distancia y una precisión angular de  $\pm 12''$ . El sistema permite medir distancias de hasta 100m, siendo la máxima distancia recomendada de medición de 50m, puesto que para distancias superiores pueden producirse errores en la medición de materiales de escasa reflectividad que no devuelven la señal láser [3].

Todas las pruebas se realizaron en el exterior, con el objetivo de que las condiciones fueran lo más semejantes posible a las de trabajo, controlando los parámetros atmosféricos de temperatura, humedad y presión.

Para estudiar la influencia de la distancia, oblicuidad, reflectividad en la medida de la distancia se construyeron 3 paneles: uno de ellos constituido por 4 rectángulos de diferente textura, el 2º formado por 12 cuadrados de colores pastel perteneciente todos a la carta de color Pantone 750 y un 3º panel formado por 28 rectángulos esmaltados de colores catalogados con la carta de color Pantone 747 XR Empleándose también una señal de puntería formada por dos triángulos negros y dos de color amarillo fosforescente (número 803C en la carta Pantone 747 XR).

## 2. Condiciones generales de las pruebas

Las pruebas se efectuaron en el exterior con condiciones meteorológicas favorables y controladas. Todas ellas con cielo cubierto, semicubierto o en sombra, durante todo el tiempo que duró cada prueba, consiguiendo con ello una luz difusa que permitía un reparto uniforme de la iluminación en toda la superficie a tomar; con condiciones de viento nulo o moderado. Las constantes medidas (temperatura, humedad y presión atmosférica) no sufrieron variaciones importantes que indicaran la necesidad de efectuar la repetición de algún caso.

En total se efectuaron cinco pruebas sobre paneles que contenían los colores enmarcados en zonas rectangulares sobre un fondo de color blanco.

Las pruebas relativas a la distancia de trabajo para los paneles estuvieron cercanas a 12m, con el cabezal láser en posición horizontal y con el panel de pruebas en diversas posiciones (frontal, oblicuo para valores de 30º y 60º) para el estudio de color (en esmaltado y pastel), rugosidad y trama.

Para el estudio de la distancia se utilizó una señal de puntería de fondo negro con marca en amarillo a distancias de 5, 10, 15, 20 y 70m.



Figura 1: Panel de pruebas de textura.

Para terminar se estudio la respuesta que diverso material de construcción (ladrillo, algunos tipos de madera y material pétreo) muestra para un mismo barrido.



Figura 2: Prueba de la influencia de distancia sobre señal de puntería.

Un fenómeno que se observó en alguno de los barridos es el hecho de que se produjo un “camino” de puntos que unía el eje del sensor con el panel, quedando reflejados en éste dos círculos concéntricos en los que no existían puntos.

### 3. Tratamiento de los datos

Una vez escaneados todos los paneles con diferentes condiciones de distancia, ángulo de oblicuidad respecto del eje del sistema de escaneado..., se procedió a trabajar sobre cada uno de los ficheros obtenidos para su división en distintos ficheros de forma que tuviéramos por separado cada uno de los parches de color o textura que constituían el panel.

La selección de los puntos de cada uno de estos parches se realizó manualmente eliminando los bordes para evitar seleccionar puntos erróneos, posteriormente se exportaron las coordenadas de los puntos junto con su valor de reflectividad a ficheros ASCII.

A partir de estas coordenadas y mediante el método general de mínimos cuadrados se procedió al ajuste de un plano para cada uno de los parches, analizándose posteriormente la bondad de los puntos con el objeto de eliminar aquellos que por un error de medida estuvieran claramente fuera de la superficie a ajustar y que, por tanto, perjudicaran la determinación del plano. Se calcularon los centroides de todos los parches y se comprobaron que estos puntos estuviesen dentro de su plano, así como la distancia mínima para los demás planos. Estadísticamente se calcularon los residuos de la profundidad de cada punto con respecto al plano obtenido en todos los casos.

### 4. Análisis de resultados en función de la distancia

En el caso del estudio de la distancia se utilizó una señal de puntería de color amarillo sobre fondo negro. En este caso se quería comprobar si la distancia entre los planos definidos por los colores permanece invariable. Se analizaron distancias comprendidas entre los 5 y los 70 m, al ser estas las distancias más habituales en los casos terrestres con aplicaciones arquitectónicas y arqueológicas, encontrándose que entre estas distancias no se presentan diferencias significativas entre los dos planos de la señal de puntería, inferior a 2mm y por tanto por debajo de la precisión a priori del láser, pero presentando siempre el color negro una mayor distancia en la respuesta.

## 5. Análisis de resultados en función de la rugosidad

Para el estudio de la respuesta de la rugosidad en la captura de superficies se utilizaron cuatro hojas tamaño DIN A1 de papel abrasivo con diferente granulado, en concreto se utilizaron los números 40, 80, 100 y 150 de la serie 10306 de la casa VEHOUSE en color verde. Se eligió este tipo de material y rugosidad al ser el más parecido al utilizado en construcción. Se efectuaron un total de 6 series de las que se utilizaron las tres últimas, la primera de ellas frontal y las siguientes con oblicuidades de 30° y 60° respectivamente.

En la toma frontal se tomaron entre 4500 y 5000 puntos por parche, donde el menos rugoso presenta una desviación de 0,002m en la definición del plano, y el más rugoso una desviación de 0,001m con variaciones inferiores al centímetro para todos los parches.

En las tomas oblicuas se presentan variaciones similares a las presentadas en la frontal.

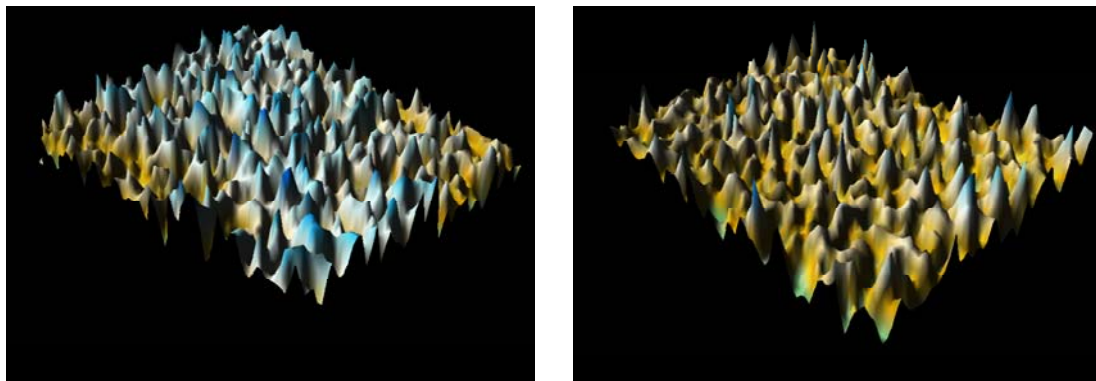


Figura 3: Parches de la toma frontal: a) residuos para la lija de 40 (valores entre -0,009 y 0,009), b) residuos para la lija de 150 (valores entre -0,005 y 0,009)

## 6. Análisis de resultados en función de la oblicuidad

Para analizar la influencia de la oblicuidad, tan importante a tener en cuenta a la hora de planificar la toma de datos en campo, se ha utilizado el panel de los colores pasteles en tres posiciones diferentes 30°, 60° y perpendicular al eje del láser-escáner. En los gráficos que a continuación se presenta la distribución de los residuos en función de la frecuencia relativa (se ha analizado de este modo porque el número de puntos de cada parche es diferente), cabe mencionar que todos los paneles han devuelto señal y han permitido calcular los planos con residuales inferiores al milímetro. En general se aprecian valores similares en los colores blanco, vainilla y hueso para todos los valores de oblicuidad siguiendo una distribución normal con igual dispersión. En el color verde se aprecia una distribución normal para el caso frontal y una mayor dispersión en el caso de tener el panel girado respecto al eje de barrido. Para el color azul se comprueba que en todas las posiciones existe mayor variación que en el resto de colores, viéndose ésta acentuada en el caso de la máxima rotación analizada de 60°.

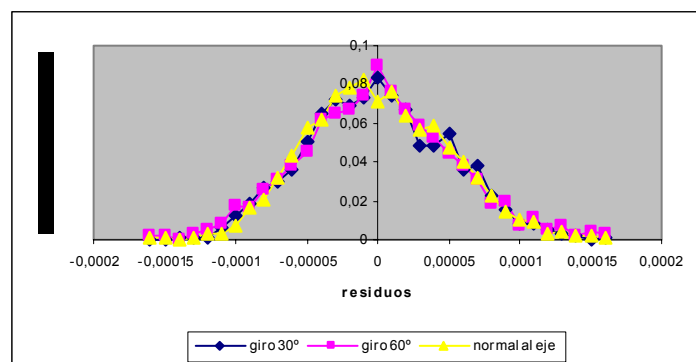


Figura 4: Distribución de los residuos respecto al plano en el color Blanco

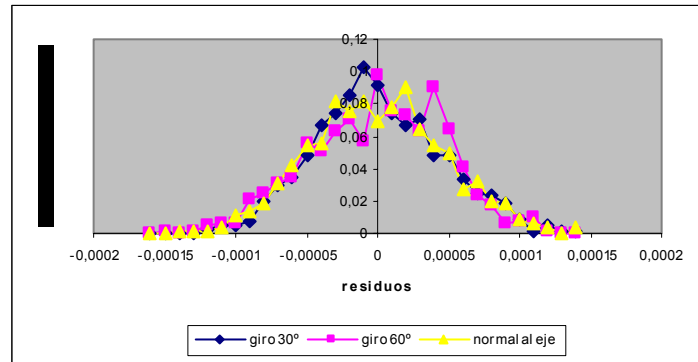


Figura 5: Distribución de los residuos respecto al plano en el color Vainilla

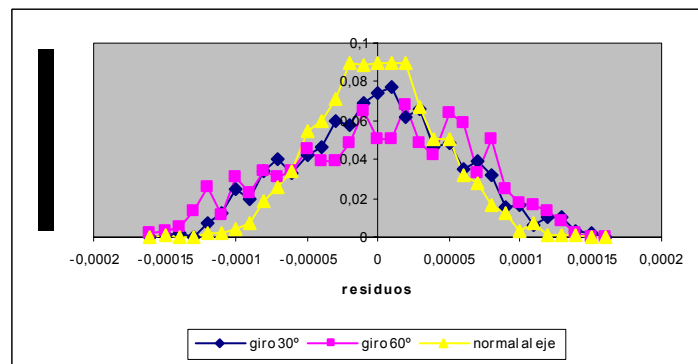


Figura 6: Distribución de los residuos respecto al plano en el color Verde relax

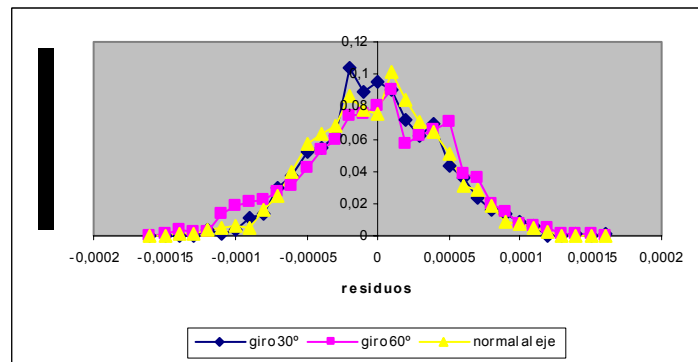


Figura 7: Distribución de los residuos respecto al plano en el color Hueso

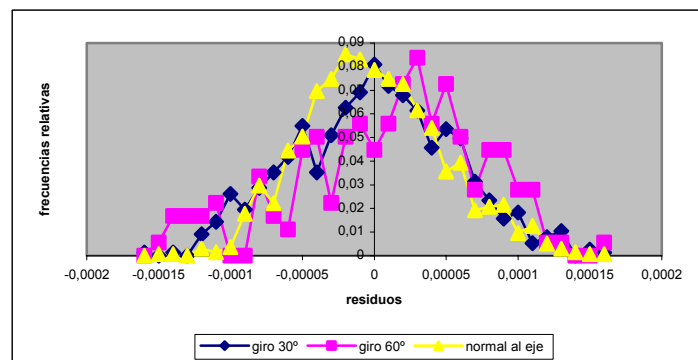


Figura 8: Distribución de los residuos respecto al plano en el color Azul Mediterráneo.

## 7. Análisis de resultados en función del color

Para analizar la atenuación de la señal en función del color del elemento se utilizó el panel formado por colores pastel de la carta de color Pantone 750 correspondientes con:

407 (vainilla)	406 (salmón)	405 (salmón claro)	405 (verde relax)
409 (ocre claro)	410 (ocre)	412 (melocotón)	404 (lila)
411 (hueso)	408 (amarillo fuerte)	401 (azul celeste)	402 (azul mediterráneo)

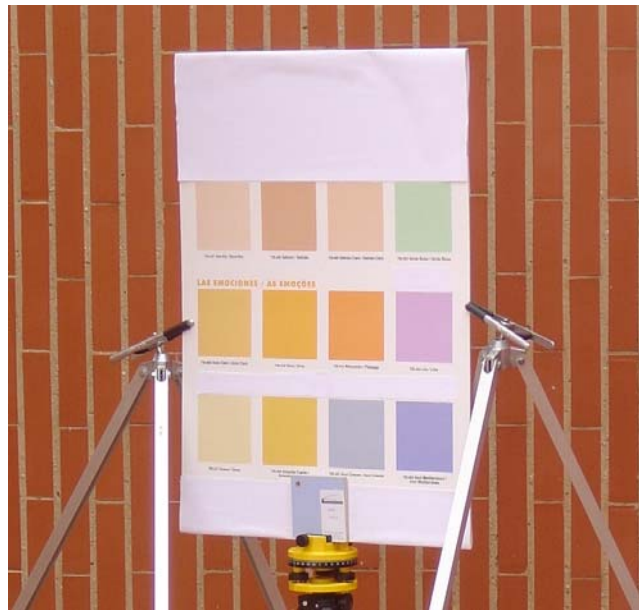


Figura 9: Carta de colores pastel Pantone 750

y el panel formado por tarjetas esmaltadas en las que se combinaban parches mates con otros brillantes de la carta de color Pantone 747 XR de tonos

grises	(427C, 427U, 430C, 432C)
verdes	(372C, 373C, 377C, 378C)
marrones	(4665C, 4715C, 4705C, 5155C)
grises	(441C, 429C, 430C, 431C)
rojos	(186C, 186U, 193C, 194C)
amarillos	(134C, 107C, 108C, 122C)
negros-verdosos	(532U, 532C, 5185C, 497C)



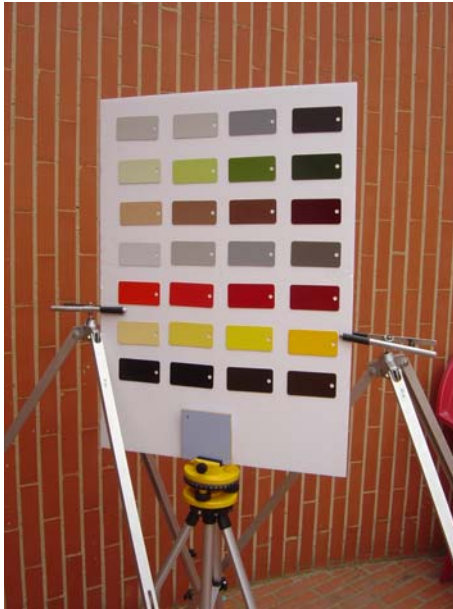


Figura 10: Carta de colores Pantone 747 XR

En este caso se pretende analizar:

- La pérdida de señal en función del color y oblicuidad.
- La reflectividad de cada color.
- La distancia a cada plano de color.

En el primero de los casos, a simple vista y para todas las orientaciones panel perpendicular al eje del láser-escáner, rotado  $30^\circ$  y rotado  $60^\circ$  se puede observar que en el caso de los colores pastel en ningún caso se produce pérdida de información por no haber retorno de la señal, mientras que en el caso de las tarjetas esmaltadas se produce una pérdida de datos en el caso de rotación de  $30^\circ$  para los colores 532U, 532C y para 532U, 532C, 5115C en el caso de rotación a  $60^\circ$ . Analizando la composición de los mismos vemos que en todos ellos el color predominante (aproximadamente en un 50%) es el rojo rubí, junto con negro en una menor proporción, por lo que suponemos que es éste primero el que provoca una absorción de parte de la señal que llega al panel y por lo tanto pérdida de información.

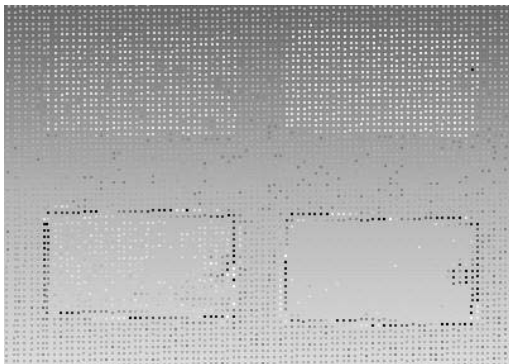


Figura 11: Pérdida de señal.

Respecto a la reflectividad de los diferentes colores registrada en los ficheros ASCII, se puede observar que para todos los parches presentan variaciones considerables en algunos de los puntos sobre todo en el panel de las tarjetas esmaltadas, no presentándose esta variación, salvo en el caso del 412 aunque en menor medida, en el caso del panel de los colores pastel.

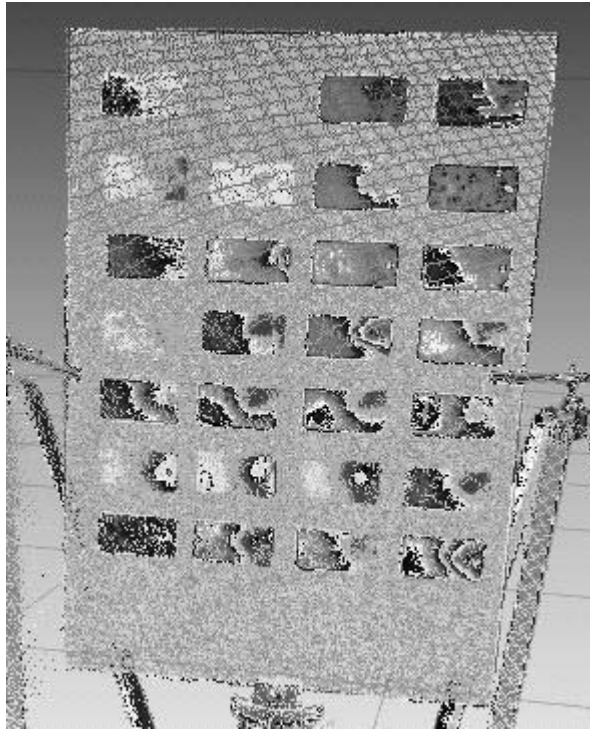


Figura 12: Cambio de reflectividad

Por último, y para comprobar como afecta el color de los elementos a levantar en la medida de la distancia, nos hemos centrado en el barrido con el eje perpendicular a cada uno de los paneles.

En el caso del panel pastel (Pantone 750) se puede observar que se produce una diferencia significativa en distancia entre los planos ajustado para cada uno de los parches tomando como referencia el blanco del fondo del panel. La mayor diferencia se produce para los colores lila y azul mediterráneo para los que el offset con el color blanco es de 26mm siendo las menores diferencias (milimétricas) las encontradas para los colores vainilla, salmón claro, salmón y verde relax y diferencias de aproximadamente 10mm para el resto de los colores. Es importante comprobar como se mantiene la diferencia de distancia entre planos definidos para todas las orientaciones del panel.

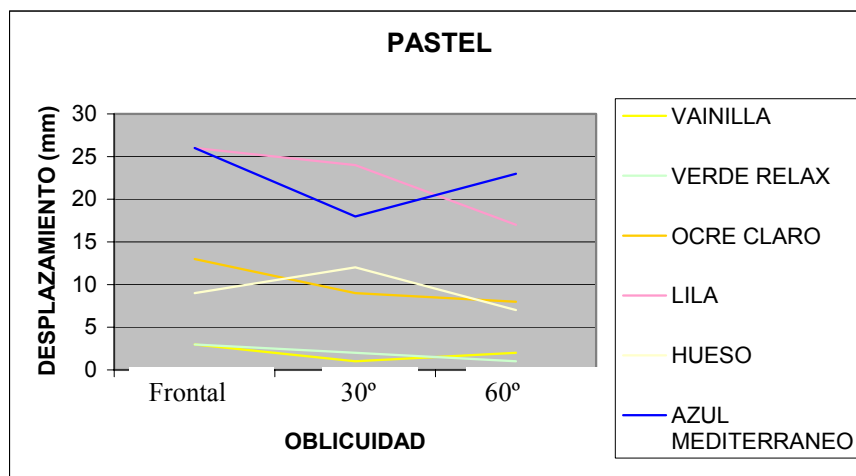


Figura 13: Gráfico de desplazamiento en función de la oblicuidad



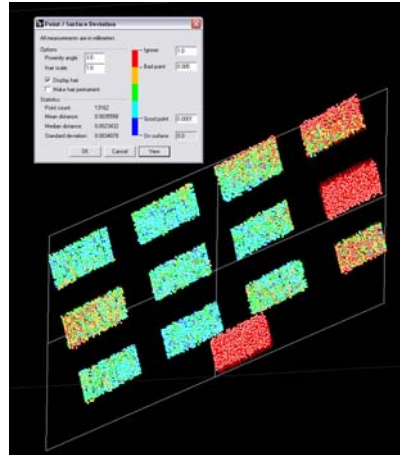


Figura 14: Residuos de los diferentes parches respecto al plano general

Analizando los residuos de profundidad de los puntos respecto al plano ajustado para dos de los colores entre los que hemos encontrado mayores diferencias, blanco y lila, podemos ver que mientras que para el primero estos no alcanzan el valor de 1mm para el color lila oscila entre -6mm y 6mm.

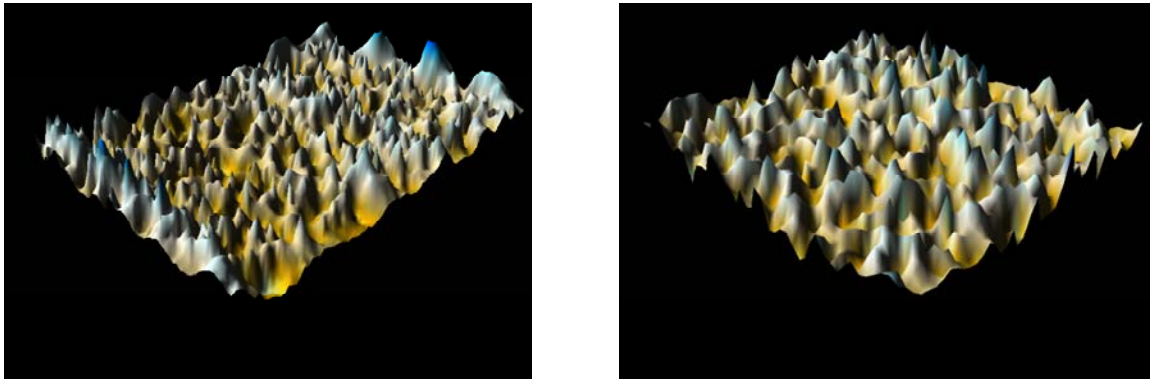


Figura 15 : Residuos del color blanco y lila.

Por lo que respecta a los colores del panel esmaltado de la carta Pantone 747 XR después de comparar los diferentes planos obtenidos con el gris 427C podemos indicar que no se producen variaciones tan importantes como las presentadas en el caso anterior (entre -3 y 9mm), quizás por ser una superficie esmaltada.

## 8. Análisis de resultados en el caso de materiales de construcción

En este caso se analizó la respuesta a escala cualitativa de un conjunto de materiales de construcción (ladrillo rojo, madera lisa, madera veteada, mármol negro, sienita, cuarcita, mármol blanco) para un mismo barrido. Se comprobó que la respuesta de los materiales en el caso frontal fue similar para todos ellos, no produciéndose la pérdida de información en ningún caso aunque se esperaban problemas en los materiales pétreos oscuros.



Figura 16: Materiales de construcción analizados

## **9. Conclusiones**

A lo largo de la realización de diversos proyectos se ha detectado que bajo determinadas condiciones de toma de datos se produce una respuesta diferente en función del color y textura del material sobre el que se está realizando el barrido. Para poder corregir determinados sistematismos a la hora del tratamiento de las nubes de puntos obtenidas es necesario conocer cual es la respuesta esperada de la señal, lo cual nos permitirá filtrar la información al conocer que puntos son erróneos.

Tras realizar las diversas pruebas sobre paneles de distinto color y textura, y variando las condiciones de toma en distancia y oblicuidad, hemos observado, como era de esperar, que los colores claros presentan una distancia menor al sensor que los oscuros, aunque entre los primeros también se producen variaciones significativas.

Una de las primeras conclusiones a las que podemos llegar es el resultado que se produce en los planos de diferente color y nivel de brillo se producen diferencias en la densidad de puntos y en la calidad de los mismos, comprobándose que para determinados colores (en una primera valoración aquellos colores que presentan en su composición tonalidades del rojo, principalmente rojo rubí) se produce una absorción de la señal que se ve acentuada con la oblicuidad.

A nivel de rugosidad no se han encontrado variaciones significativas en la definición de los diferentes planos para ninguna de las pruebas realizadas con diferente oblicuidad.

En cuanto a los materiales de construcción probados cabe destacar que para la toma perpendicular todos ellos presentan buenas condiciones de reflexión incluidos aquellos de colores oscuros para los que a priori se esperaba una absorción de señal.

Para poder llegar a conclusiones más extrapolables creemos que es necesario realizar más pruebas con diferentes superficies y condiciones de toma en condiciones de trabajo en campo, ya que todos los estudios realizados hasta ahora se basan en pruebas en laboratorio y bajo condiciones que no se presentan en los casos reales del día a día, ya que únicamente los sensores láser escáner para corta distancia pueden ser utilizados en ese ambiente.

## **Agradecimientos**

Agradecemos la inestimable colaboración de Joaquín Regot y Andrés de Mesa pertenecientes al departamento d'Expressió Gràfica Arquitectònica I , y a Josep Roca del Centre de Política del Sòl i Valoracions de la UPC.

## **Referencias**

- [1]. Clark J., Robson S., 2004. Accuracy of measurements made with a Cyrax 2500 Laser Scanner against surfaces of known colour. ISPRS XX Congress- Commision 4. Estambul.
- [2]. Gielsdorf F., Rietdorf A., Gruending L. 2004. A concept for the calibration of terrestrial Laser Scanners. FIG Working Week 2004. Atenas.
- [3]. Buill F. , Gili J.A., Núñez A., Regot J., Talaya J., 2003. Aplicación del láser escáner terrestre para levantamientos Arquitectónicos, Cartográficos e Industriales. Congreso 5ª Semana Geomática. Barcelona.